

ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ ЦЕНТРА МОСКВЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

© 2021 г. Э. А. Лихачева^а, Н. В. Аникина^{а, *}, А. Н. Маккавеев^{а, **}

^аИнститут географии РАН, Москва, Россия

*e-mail: nikitina.nadine@gmail.com

**e-mail: aleksander-mackaveeff@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.05.2019 г.

После доработки 09.02.2020 г.

Принята к публикации 30.10.2020 г.

Одна из характерных черт центра Москвы — густая сеть подземных коммуникаций разного возраста, в том числе коллекторов малых рек. Проведено сравнение “Нивелирного плана города Москвы” 1888 г. с топографической картой Москвы 1984 г. издания. Общий характер рельефа центра города за 100 лет практически не изменился, абсолютные отметки рельефа увеличились не более чем на 0,6 м в среднем. На примере в настоящее время забранных в коллектор рек — Неглинной, Пресни, Чечёры и Золотого Рожка — показано, что антропогенные изменения с конца XIX в. до настоящего времени привели к тому, что густота эрозийной сети стала близка практически к нулю, а площадь субгоризонтальных поверхностей увеличилась. Однако если в долинах малых городских рек, текущих на поверхности, геоморфологические процессы замирают, то спрятанные в коллектор такие реки становятся местами интенсификации суффозионно-просадочных явлений, подтопления и деформаций зданий и сооружений, приносящих значительный ущерб городскому хозяйству. Упростилась структура и морфометрические показатели водосборных бассейнов, а значительная часть их площади стала водонепроницаемой. Несмотря на уменьшение уклонов рельефа, скорости течения и мощности потоков возросли, а с ними и их эрозийный потенциал. В настоящее время сохраняется угроза ливневых паводков.

Ключевые слова: водосборный бассейн, антропогенная трансформация, техногенно погребенные реки, поверхностный сток, морфометрия речных бассейнов

DOI: 10.31857/S2587556621010106

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизированную морфолитосистему территориально можно представить, как систему водосборов поверхностного стока (речных, овражно-балочных). Она гораздо сложнее, чем природная, и проходящие в ней процессы способствуют возникновению новой организованности системы водосборного бассейна [7, 10].

Изучение особенностей функционирования современной системы водосборных бассейнов — одна из приоритетных задач инженерной геоморфологии и геоэкологии. Без решения этой задачи невозможен объективный прогноз развития городской среды. Влияние различных видов хозяйственной деятельности на водный баланс водосборов еще недостаточно исследовано. Анализ данных о потерях или изменениях стока (водозаборе, переброске, регулировании плотинами) не дает надежной основы для прогноза развития бассейна. Необходимо выявление всего комплекса элементов сложной структуры стока и особен-

но оценка степени антропогенной трансформации рельефа.

В данной работе показано, что для решения поставленной задачи можно использовать картометрические методы. В том числе сопоставление морфометрических характеристик современной и утраченной сети, сравнение карт разных периодов освоения, которое дает возможность оценить изменения площади поверхностей различной крутизны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данная работа основана на анализе морфометрических параметров рельефа. Одним из методов изучения трансформации рельефа служит сравнение разновременных топографических карт. В 1870 г. Московская городская дума, планируя развитие городской канализации, приняла решение о создании новой карты города, содержащей метрические сведения о рельефе. Выиграл проект, поданный преподавателями Константиновского межевого института — Н.Н. Смирновым,

Д.П. Рашковым и А.П. Захаровым (последний в дальнейших работах не участвовал), и в 1874–1877 гг. была проведена мензурная и нивелирная съемка территории. На основании первичного съемочного оригинала было составлено несколько вариантов “нивеллирных планов Москвы”, наиболее известным из которых и фактически первым картографическим изображением Москвы в горизонталях является “Нивелирный план города Москвы. Составлен на основании тригонометрической сети, по съемке и нивелировке города в 1874–1877 гг. межевными инженерами Н.Н. Смирновым и Д.П. Рашковым”. Огромная карта масштаба 1 : 8400 с горизонталями, проведенными через 1 сажень, была напечатана в 1879 г. [15]. В 1888 г. вышло второе издание плана в том же масштабе, но с большим охватом территории. Работами руководил уже только Д.П. Рашков. На карте показана Москва конца XIX в. в пределах Камер-Коллежского вала и ее ближайшие окрестности (Марьино Роша, д. Кожухова, Даниловская слобода и др.). Довольно густая уличная сеть того времени сохранилась во многих районах без значительных изменений до сих пор. Именно этот вариант карты и был использован в данной работе.

Рельеф на плане показан с помощью горизонталями в относительных отметках (сажнях) над меженным урезом р. Москвы (“московский ноль”) с шагом через каждую сажень, что соответствует примерно 2 м. Такая точность изображения делает план важнейшим источником информации о рельефе столицы конца XIX в.; детальный масштаб позволяет сравнить его с более поздней топографической картой Москвы 1984 г. масштаба 1 : 10000 (с горизонталями, проведенными через 2 м).

Для оценки степени трансформации рельефа первоначально необходимо было привести “нивеллирный план” к принятым в настоящее время единицам — абсолютным отметкам над ур. м в метрах. Изолинии были векторизованы, а их значения переведены из сажень в метры (длина сажени составляет 2.1336 м), а затем, учитывая высоту отметки начала отсчета, относительные превышения изолиний переведены в абсолютные. В топографических работах конца XIX в. за начало отсчета высот была принята марка, соответствующая урезу р. Москвы у Данилова монастыря (“московский ноль”). Существуют небольшие расхождения в определении абсолютного значения этой отметки (марка в настоящее время не существует), но по результатам недавних геодезических измерений подтверждаются данные А. Бика (1903), определяющего эту отметку в 54.2 сажени, т.е. 115.6 м над ур. м. в Балтийской системе высот [6].

Для центра Москвы с помощью модуля Spatial Analyst программы ArcMap 10.3 были построены

две цифровые модели рельефа (ЦМР) с разрешением ячейки 10 м; при этом использовались векторизованные изолинии рельефа “нивеллирного плана” 1888 г. и изолинии рельефа топокарты 1984 г. масштаба 1 : 10000. При построении использован механизм интерполяции *topo to raster*, наиболее подходящий для создания поверхности рельефа.

Для исследования были выбраны 4 водосборных бассейна малых рек центральной части Москвы: рр. Неглинная, Пресня, Чечёра и Золотой Рожок (рис. 1). Все они в настоящее время спрятаны под землю, то есть их долины претерпели существенную трансформацию. На основе построенных ЦМР и векторного слоя с границами водосборных бассейнов вычислены морфометрические показатели рельефа внутри бассейнов: максимальные, минимальные и средние абсолютные отметки рельефа, длины водотоков в конце XIX и в конце XX в., площади водосборных бассейнов. С помощью инструмента *slope* модуля Spatial Analyst построены карты уклонов для двух ЦМР, затем растровые поверхности с уклонами были переклассифицированы в соответствии с заданными интервалами с помощью инструмента *Reclassify*, после чего были вычислены площади, занимаемые поверхностями с разной крутизной. Для автоматизации процесса морфометрического анализа с помощью модуля *Model Builder* создан геоинструмент, выполняющий последовательную цепочку операций пространственного анализа для каждого из четырех водосборных бассейнов.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

О динамическом потенциале речного бассейна косвенно можно судить по таким морфометрическим характеристикам, как площадь водосбора и уклоны его поверхности. В результате урбанизации резко изменилась структура бассейнов. Инженерно-технические мероприятия по приведению территории города в соответствие с требованиями строительных норм и правил направлены на снижение энергии рельефа: выравнивание склонов, уничтожение мелкой дренажной сети, выполаживание среднего звена дренажной сети (засыпка поймы и заключение в трубу водотока), переводение системой ливневой канализации поверхностного стока в подземный. В результате структура и морфометрические показатели поверхности стоковых бассейнов упростились. Работы по благоустройству территории привели к тому, что густота речной сети в бассейнах многих малых городских рек стала близка практически к нулю. В то время как более ста лет назад показатель густоты речной сети для рек центра Москвы (Неглинной, Пресни, Ходынки и др.) характеризовался величинами 0.8–1.2 км/км².



Рис. 1. Схема исследуемых речных бассейнов в Москве. I – р. Неглинная, II – р. Пресня, III – р. Чечёра, IV – р. Золотой Рожок.

На территории города большие площади могут быть отнесены к водонепроницаемым, уменьшающим испарение и инфильтрацию: застроенные, покрытые асфальтом и бетоном участки с искусственно уплотненными почвами. Наличие их в водосборном бассейне увеличивает поверхностный и снижает подземный сток при общем увеличении полного речного стока [13]. Во время сильных дождей склоновый сток с участков, имеющих искусственное покрытие, составляет от 50 до 80%, а в центральных частях даже 80–90% от общего склонового стока. Сток с них не пополняет запасы грунтовых вод, как прежде, а попадает в ливневую канализацию или непосредственно в реки. Н.И. Коронкевич и К.С. Мельник отмечают, что увеличение всего на 1% водонепроницаемых площадей способствует росту речного стока ориентировочно на 2–3% что, в свою очередь, приводит к затоплению и подтоплению пониженных территорий, особенно во время дождевых паводков [4, с. 86].

Несмотря на то, что большинство малых рек на территории города перестали существовать как открытые водотоки, их бассейны по-прежнему служат водосборами, но уже теперь, главным образом, подземного стока. Водоразделы элементарных водосборов уничтожены, но главные водоразделы (рек III порядка) сохранились. Улицы, проходящие на месте исчезнувших рек (например, Неглинная, Конюшковская и др.), по-прежнему ниже кварталов, занимающих бывшие водоразделы, и при паводках затопляются в первую очередь. Кроме двух “этажей” в бассейнах таких рек есть еще и третий – этаж канализации и дренажа, густота которых значительно превышает густоту уничтоженной поверхностной эрозийной сети. На каждом условном этаже деятельность потока проявляется по-своему. Кроме того, нарушение структуры стока вызывается и внедрением технических сооружений со сбросом вод в более глубокие водоносные горизонты, которые в естественном состоянии не оказывали бы прямо-

го влияния на сток в бассейне реки, освоенном городом.

Даже скрытые под водонепроницаемым покровом подземные потоки получают достаточное питание для продолжения своей работы. Один из источников этого питания – рост атмосферных осадков, вызванный изменением климатических характеристик (в основном развитием конвекции) урбанизированных территорий [2, 18]. В столице значительно возросло среднегодовое количество осадков – особенно в восточной (с 600 до 675 мм) и южной (с 600 до 700 мм) ее частях, что И.В. Михайлов объясняет антропогенным воздействием на атмосферу [13]. Увеличились продолжительность ливней высокой интенсивности, временная и пространственная неоднородность дождей средней интенсивности, количество осадков в теплый период года. В результате к началу XXI в. слой годового стока, по сравнению с серединой XIX в., возрос более чем на 100%, главным образом за счет поверхностного стока со склонов в теплое время года, обусловленного в основном ростом урбанизации [4, с. 84]. Рост количества выпадающих на территории города осадков влечет за собой, соответственно, увеличение величины паводковых расходов воды; повышение уровня сточных вод приводит к активизации эрозионной деятельности водотоков и увеличению количества транспортируемых наносов.

Хотя часть стока подземных потоков “теряется” – вывоз снега зимой, непроницаемое покрытие поверхности, отбор подземных вод для водоснабжения – уровень грунтовых вод повышается в большинстве городских районов. Об этом можно судить по широкому распространению в столице подтопления подвальных помещений, фундаментов и возникновению зон избыточного увлажнения (подтопления “скрытого” типа). Подтопление происходит главным образом из-за потерь вод из подземных водных коммуникаций, интенсивной поливки городских территорий летом, а также создания глубоких фундаментов и подземных сооружений, перекрывающих пути разгрузки подземных вод [5, 12 и др.].

Там, где эрозионная сеть просто засыпана грунтом – обычно верховья малых рек, овраги, балки – подземный поток вымывает глинистые частицы, выносит соли и другие растворимые вещества. В результате начинают действовать суффозионные процессы, нехарактерные для геолого-геоморфологических условий Москвы; а поверхностные потоки могут совершать свою эрозионную работу только в местах отсутствия твердого покрытия (асфальта, плитки и т.п.) или при нарушении сплошности последнего.

Из-за того, что деятельность поверхностного стока совершается не в русле, а в рыхлых разнородных грунтах, которыми обычно засыпаны

спрятанные под землю реки, поток будет иметь большую разрушительную силу.

Многие водотоки сначала были заключены в кирпичных коллекторах, затем их сменили бетонные. Коллекторы вместе с “впадающей” в них ливневой канализацией образуют разветвленную подземную сеть водотоков. Такие потоки во многом отличаются от потоков текущих в открытых руслах. Из-за их “замкнутости” в них нередко возникает напорное течение, не встречающееся в открытых водотоках на равнинах, а паводки из-за огромного количества переносимого материала напоминают сели. Во время ливней подземные реки могут выйти на поверхность, даже выбивая люки коллекторов. При этом поток размывает днище, особенно старых кирпичных коллекторов, что ведет к их разрушению, особенно на участках гидравлического прыжка (резкое повышение уровня воды при резком падении скорости потока), например, в местах выполаживания продольного профиля или подпруживания русла крупными предметами, попавшими сюда с поверхности, оставленными после ремонта и т.п. [14]. С дефектами, возникающими при воздействии подземных водотоков на коллекторы, связаны промоины и просадки на дневной поверхности.

В руслах подземных водотоков, при небольших скоростях течения происходит аккумуляция, в том числе загрязняющих веществ; из мусорных скоплений происходит выделение сероводорода и метана. Так, В.А. Неходцев указывает на очень большое превышение ПДК загрязняющих веществ на устьевом участке р. Неглинной [14]. Кроме того, и старые кирпичные, и более современные бетонные подземные коллекторы со временем местами сужаются из-за роста на их стенках травертиновых наростов, образующихся при выщелачивании кальцита из бетона и цемента, которым заделаны швы между секциями и облицована оболочка коллекторов. Частично или полностью подземные русла могут быть перекрыты в зимнее время наледями, образующимися в местах выходов их на поверхность или там, где в коллектор просачиваются грунтовые воды [14].

Засыпанные долины являются территориями пониженной устойчивости, что подтверждается статистикой аварий, вызванных провалами проезжей части и проседаниями грунтов, происходящих в столице [3, 11]. Они влияют на устойчивость зданий и сооружений, возведенных на их берегах. Например, некоторые здания, расположенные на левом, крутом борту долины р. Неглинной (район между улицами Рождественка и Неглинная), деформируются из-за сползания по склону верхних горизонтов грунтовой толщи, особенно техногенных отложений, вызванного влиянием

дополнительной нагрузки, оказываемой этими зданиями [11].

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ТРАНСФОРМАЦИИ МАЛЫХ МОСКОВСКИХ РЕК

Для исследования были выбраны четыре речных бассейна — рр. Неглинной, Пресни, Чечёры (Ольховки) и Золотого Рожка, расположенные в современном центре города, и проведен анализ изменения рельефа в пределах речных бассейнов за столетие, прошедшее со времени составления “нивеллирного плана” 1888 г. Все они находятся на левобережье р. Москвы — основной территории столицы до XX в. Сейчас все эти реки стали техногенно погребенными, их русла полностью помещены в коллекторы.

Неглинная, левый приток р. Москвы — первая и, наверное, самая известная из техногенно погребенных рек города, протекает с севера на юг, ее исток был в болотах исторического района Марьино Роша, а устье — в районе Водовзводной башни Кремля. Ее длина достигала 7.5 км, а площадь бассейна — около 14 км². На своем протяжении она принимала ряд коротких притоков, самый известный из которых р. Напрудная (Рыбная). У р. Неглинной развиты две аккумулятивные надпойменные террасы. Относительная высота первой террасы 10–12 м, второй — 15–18 м, сложены они разнозернистыми аллювиальными песками с включением гравия и гальки. Впоследствии русло спрямили, и в настоящее время коллектор с водами Неглинной расположен у Восточных стен Кремля в районе Большого Москворецкого моста.

Протекавшая непосредственно у стен Кремля и защищавшая его с запада р. Неглинная подвергалась активному антропогенному влиянию с давних времен: ее берега застраивались, на реке стояли мельницы, устраивались плотины, набережные на отдельных участках укреплялись, часть воды отводилась в искусственные рвы (табл. 1). В 1817–1819 гг. в ходе глобальной реконструкции центра Москвы после войны 1812 г. реку перекрыли кирпичным сводом на протяжении трех километров. А в 1862–1876 гг. в подземной трубе скрыли еще значительный участок — до Селезневской улицы. Окончательно же Неглинная исчезла с карты в начале XX в., когда в 1911–1912 гг. были спрятаны в коллектор ее верховья [9]. Мощность техногенных отложений в долине реки от 6–10 до 15 м.

Пресня — левый приток р. Москвы. Длина водотока составляла порядка 4.5 км. Исток Пресни находился в Горелом болоте недалеко от Рижского вокзала. Река впадает в Москву-реку у Новорязанского моста, недалеко от Смоленской набережной. В 1908–1915 гг. большая часть прудов на р. Пресня спущены и засыпаны, сама река заключена в подземные трубы, верховья полностью

уничтожены [11]. В 1930–1940 гг. отвалами метро-строения засыпаны Горелое болото и исток реки. В современном рельефе от реки остались только фрагменты — Пресненские пруды на территории Московского зоопарка.

Чечёра (Ольховка) — правый приток Яузы — брала свое начало к северу от Ярославского вокзала. Длина реки была около 4 км. Река частично спрятана в коллектор уже в начале XX в. и в настоящее время на всем своем протяжении протекает под землей. При постройке Сыромятнического гидроузла уровень Яузы в районе устья повысился из-за подпора гидроузла. Поэтому в 1938 г. коллектор перестроен так, что вместо впадения в Яузу около Елизаветинского переулка р. Чечёра в коллекторе стала идти параллельно реке Яузе, а соседняя малая р. Черногрязка — впадать в р. Чечёру, и их общее устье оказалось чуть ниже плотины гидроузла.

Золотой Рожок — нижний левый приток Яузы — брал свое начало в болотистой местности в районе современной платформы “Серп и молот” и впадал в Яузу в районе Андроникова монастыря. В настоящее время река заключена в коллектор. Длина водотока 2.3 км. Мощность техногенных отложений в долине реки в основном 5–7 м.

Морфометрический анализ показал (табл. 2, рис. 2), что общий характер рельефа центра города за 100 лет в общих чертах сохранился, остается тем же соотношение водоразделов и долин, почти не изменились границы водосборных бассейнов. Практически во всех бассейнах абсолютные отметки рельефа незначительно увеличились. Однако в среднем изменение абсолютных отметок за 100 лет не превышает 0.6 м (бассейн Пресни), а в остальных анализируемых бассейнах — около 0.2–0.4 м. Максимальные абсолютные отметки выросли в бассейнах рек, расположенных в центре города (Неглинная) и недалеко от центра (Пресня), почти не изменились в бассейне Чечёры и уменьшились в бассейне Золотого Рожка, протекавшего в конце XIX в. по городским окраинам.

В тоже время минимальные высоты стали еще ниже в центральных районах города — в бассейне Неглинной на 2.7 м, в бассейне Пресни на 0.6 м, но увеличились в бассейнах Чечёры (3.4 м) и Золотого Рожка (1.9 м). Очевидно, что в последнем случае минимальные высоты увеличились и амплитуды рельефа уменьшились в результате сравнительно недавнего уничтожения рек текущих по поверхности. В центре столицы реки были спрятаны под землю раньше, чем в районах удаленных от центра (в случае нижнего течения Неглинной почти на 100 лет). Можно предположить, что за это время подземные искусственные русла (коллекторы) могли просесть под своей тяжестью. Этому способствовали суффозионные процессы и размыв их днища подземным водотоком. При ремонте старых коллекторов они оказались

Таблица 1. Изменение характера поверхности и поверхностного стока в бассейне р. Неглинной с конца XIX в. по настоящее время

| Участок бассейна | Характер поверхности в 1888 г. | Характер поверхности в настоящее время [8] |
|---|--|---|
| Верховья бассейна до Сушевского вала | Огороды и пашни, река протекает в естественных берегах, в русле устроено 3 пруда | Плотность застройки 20–30%, закрытость территории 35–40%. Река полностью протекает в коллекторе |
| От Сушевского вала до Селезневской улицы | Часть проездов замощена, река протекает в естественных берегах, в русле имеется 5 прудов | Плотность застройки 15–20%, закрытость территории 30% |
| От Селезневской улицы до Самотечной площади | Проезжие места почти все замощены, двory замощены частично. Река течет в каменной трубе, принимая приток Напрудную | Плотность застройки 20%, закрытость территории 35–40% |
| От Самотечной площади до Москвы-реки | Весь бассейн замощен, река протекает в трубе | Плотность застройки 60% и более, закрытость территории 70–90% |

ниже своих первоначальных отметок, что, в свою очередь, привело к понижению дневной поверхности над ними.

Для оценки изменения рельефа и прогноза неблагоприятных процессов по крутизне были выделены поверхности нескольких типов (рис. 3):

– поверхности крутизной от 0° до 1.5° могут считаться субгоризонтальными; смыв здесь практически отсутствует;

– на слабо наклонных поверхностях (от 1.5° до 3°) возможен слабый плоскостной смыв;

– к потенциально эрозионно опасным относятся склоны крутизной от 3° до 6°;

– эрозионно опасные склоны крутизной 6°–12°;

– могут быть подвержены неглубоким оползням и оплывинам наиболее крутые для исследуемой территории склоны более 12°.

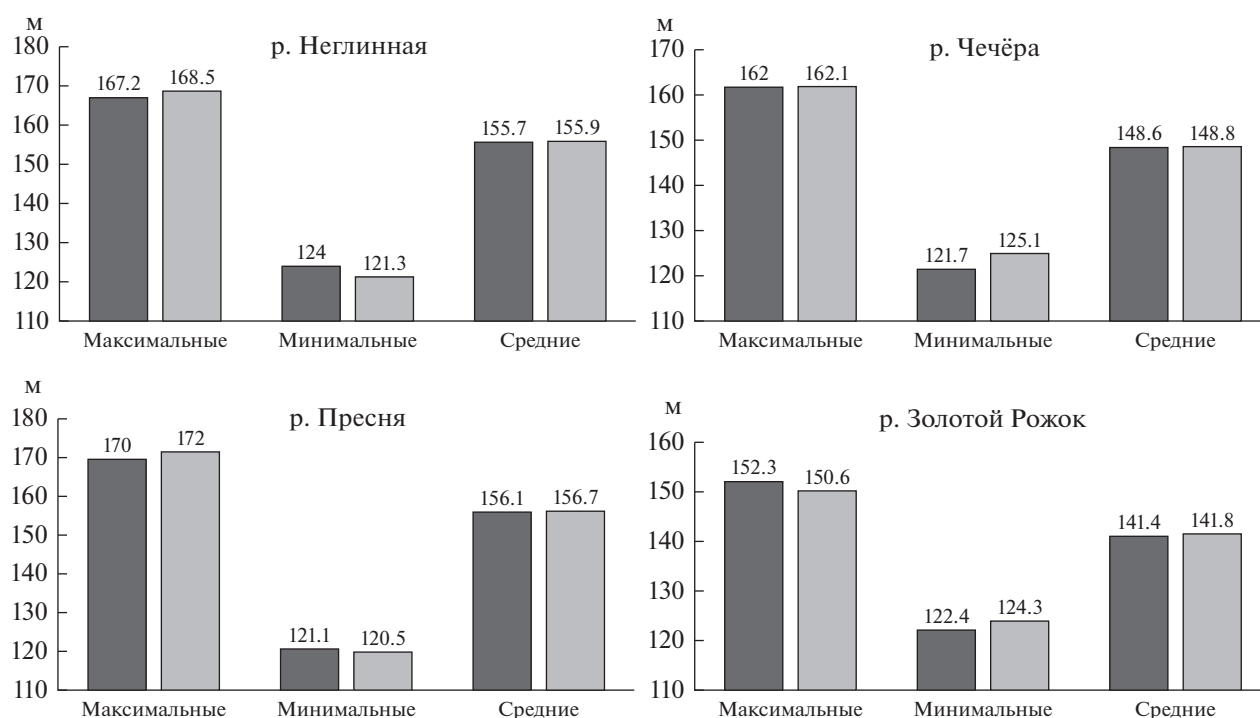


Рис. 2. Изменение абсолютных отметок рельефа за сто лет в пределах водосборных бассейнов малых рек г. Москвы. Значения абсолютных отметок показаны темно-серым для 1888 г., светло-серым – для 1984 г.

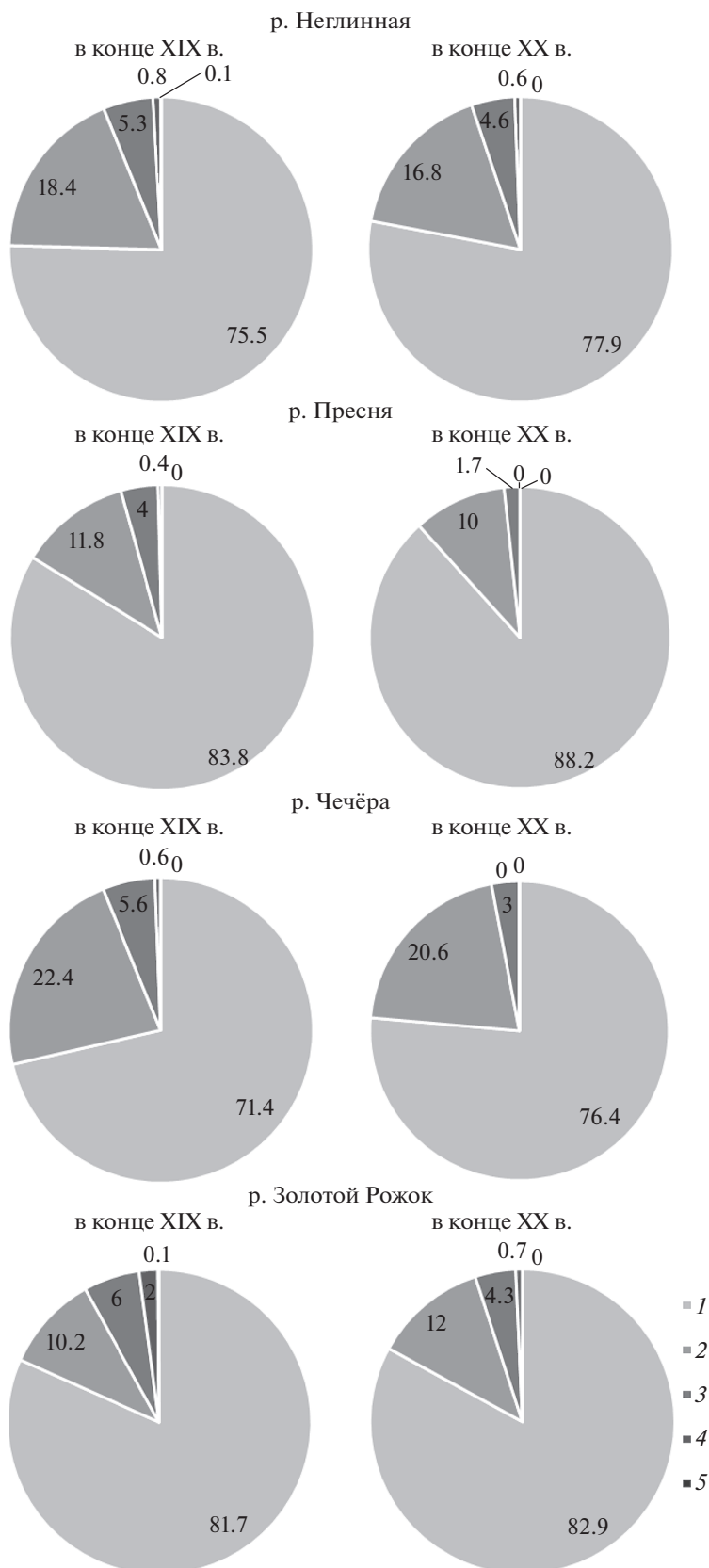


Рис. 3. Изменение площадей склонов различной крутизны в пределах водосборных бассейнов малых рек г. Москвы. 1 – субгоризонтальные поверхности (0°–1.5°), 2 – слабонаклонные поверхности (1.5°–3°), 3 – наклонные поверхности (3°–6°), 4 – пологие склоны (6°–12°), 5 – крутые склоны (12°–20°).

Таблица 2. Изменение основных морфометрических показателей в бассейнах малых московских рек

| Река | Площадь бассейна, км ² | Длина водотока в открытом русле, км | | Мощность техногенных отложений, м | |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------------|
| | | 1888 г. | настоящее время | средняя | максимальная |
| Неглинная | 14.65 | 3.4 | 0 | 3.2 | 15.4 |
| Пресня | 15.37 | 6.7 | 0 | 2.4 | 13.5 |
| Чечёра | 8.06 | 2.4 | 0 | 2.8 | 10.5 |
| Золотой Рожок | 3.27 | 1 | 0 | 2.5 | 13.5 |

ОБСУЖДЕНИЕ

Для центральной части Москвы характерен сравнительно пологий рельеф (от 1.5° до 3°). В табл. 2 приведена площадь склонов каждого типа в пределах изучаемых речных бассейнов. Можно отметить, что в процессе антропогенной трансформации речных бассейнов в городе площадь субгоризонтальных поверхностей увеличивается за счет выравнивания и выполаживания склонов и уменьшения площади поверхностей круче 1.5° и более. В настоящее время она составляет не менее 3/4 всей территории анализируемых бассейнов, превышая в бассейне Пресни 88% (увеличение за 100 лет более чем на 4%). Наиболее крутые склоны (свыше 12°) практически исчезли.

За последние сто лет кардинально изменился водный баланс малых рек Москвы. В естественных условиях около 2/3 атмосферных осадков испарялось и просачивалось в грунт, тогда как только 1/3 приходилась на поверхностный сток. Сейчас же на поверхностный сток тратится более 2/3 выпадающих осадков. Замоещение территории асфальтом и брусчаткой, большая плотность застройки привели к тому, что закрытость территории увеличилась, и значительная часть поверхности бассейна стала практически водонепроницаемой. Поэтому, несмотря на уменьшение уклонов рельефа, скорости течения и мощности потоков возросли, а с ними и их эрозионный потенциал. В настоящее время сохраняется угроза ливневых паводков.

Современные геоморфологические процессы в бассейнах малых рек кардинально изменились по сравнению с естественными. Раньше здесь преобладали плоскостной смыв, речная и овражная эрозия, аккумуляция, заболачивание. Сейчас овраги исчезли, но на гораздо большей части территории происходит подтопление. Поверхностный сток переведен в систему ливневой канализации. В результате ливневая канализация — искусственный русла временных водотоков — постоянно забивается наносами. Часть воды уходит в грунт, в основном в техногенно погребенные долины, заполненные разнородными и неустойчивыми техногенными отложениями; наблюдаются слу-

чай суффозии, с которыми связаны аварии и просадки грунта, деформации зданий [3, 11, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бассейны рассмотренных рек подвержены многократному и разнообразному антропогенному воздействию, которое привело к нивелировке рельефа как долин (русла водотоков заключены в коллектор), так и водоразделов. Однако если в долинах малых рек на урбанизированных территориях геоморфологические процессы ослабевают и даже замирают, то, спрятанные в коллектор, такие реки вызывают интенсификацию процессов, приносящих значительный ущерб городскому хозяйству.

Рассмотренные водосборные бассейны центра Москвы прошли следующие этапы антропогенно-техногенной трансформации.

1. Бассейн малой реки с хорошо выраженными руслом и надпойменными террасами (природная система);
2. Частично канализованное русло (отдельные участки русла скрыты в подземный коллектор) с сохранением в целом структуры водосбора (природно-антропогенная система);
3. Русло полностью взято в коллектор. Водосборный бассейн застроен, проведены вертикальная планировка и ливневая канализация, зарегулирован поверхностный сток (техногенно-природная система). Без инженерного контроля система может «выйти из строя».

Участки интенсивной антропогенной нагрузки, претерпевшие наибольшие антропогенные изменения рельефа, характеризуются и наибольшим числом случаев деформаций материально-технических объектов в расчете на единицу площади, наибольшим числом случаев нарушения асфальтового покрытия в результате его просадки и подтоплением подвалов. К ним относятся, прежде всего, устьевые участки полностью зарегулированных бассейнов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникина Н.В.* Влияние палеорельефа на формирование антропогенной морфолитосистемы (на примере центральной части Москвы) // Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 215–221.
2. *Алексеева Л.И., Варенцов Е.В., Горбаренко Е.В., Горлач И.А., Еремина И.Д., Жданова Е.Ю., Кирсанов А.А., Кислов А.В., Константинов П.И., Корнева И.А., Локощенко М.А., Назваль Е.И., Ровокатова А.П., Ривин Г.С., Самсонов Т.Е., Сошинская И.В., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А.* Климат Москвы в условиях глобального потепления / под ред. А.В. Кислова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2017. 288 с.
3. Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды. М.: Медиа-ПРЕСС, 2006. 200 с.
4. *Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Антропогенное воздействие на сток реки Москвы. М.: МАКС Пресс, 2015. 168 с.
5. *Кочетова Д.Ф.* Выявление техногенного воздействия на уровенный режим грунтовых вод городских территорий (на примере Горького) // Режимные инженерно-геологические и гидрогеологические наблюдения в городах. М.: Наука, 1983. С. 147–148.
6. *Кусов В.С.* Древнейшие нивелирные марки Москвы // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2000. № 2. С. 162–169.
7. *Лихачева Э.А.* Морфодинамика антропогенного рельефа городской территории // Проблемы морфодинамики. М.: АН СССР, 1983. С. 84–90.
8. *Лихачева Э.А., Бгатов Ан.П., Краснов А.Ф.* Особенности современных геоморфологических процессов на территории города // Современное экзогенное рельефообразование, его изучение и прогноз. М.: АН СССР, 1984. С. 32–43.
9. *Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Курбатова Л.С.* Древние и современные процессы в долине реки Неглинной // Геоморфология. 2001. № 4. С. 58–66.
10. *Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Локшин Г.П.* Этапы и стадии развития водосборных бассейнов малых рек на урбанизированных территориях (на примере г. Москвы) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 5. С. 103–111.
11. *Маккавеев А.Н., Махорина Е.И.* Технопогребенные долины как один из активнейших компонентов морфолитосистемы крупных городов // Очерки по геоморфологии урбосферы. М.: Медиа-ПРЕСС, 2009. С. 291–312.
12. *Маккавеев А.Н., Федорович Д.В.* Трансформация уровня грунтовых вод на городской территории (Москва) / Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 202–215.
13. *Михайлов И.В.* Влияние урбанизированных территорий на формирование некоторых элементов водного баланса Курской модельной области // Воздействие хозяйства и природы в городских и промышленных геосистемах. М., 1982. С. 45–52.
14. *Неходцев В.А.* Подземные реки городов // Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. С. 103–120.
15. Нивелирный план города Москвы. Составлен на основании тригонометрической сети, по съемке и нивелировке города в 1874–1844 гг. межевыми инженерами Н.Н. Смирновым и Д.П. Рашковым. 1879 г. // Факсимильное издание первой карты Москвы с изображением рельефа. К 225-летию КМИ – МИИГАиК. Роскартография, 2002.
16. *Скоморохов А.И.* К развитию форм овражно-балочного рельефа // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1981. № 5. С. 114–121.
17. *Федорович Д.В., Маккавеев А.Н., Локшин Г.П., Горецкий К.В.* Особенности функционирования урбанизированного водосборного бассейна (на примере бассейна р. Ходынки, г. Москва) // Геоморфология. 2004. № 3. С. 29–36.
18. *Dixon P.G., Mote T.L.* Patterns and causes of Atlanta's Urban Heat Island-Initiated precipitation // J. Appl. Meteorol. 2003. V. 42. № 9. P. 1273–1284.

Drainage Basins Transformation of Moscow Center Influenced by Town-Planning

E. A. Likhacheva¹, N. V. Anikina^{1,*}, and A. N. Makkaveyev^{1,**}

¹*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: nikitina.nadine@gmail.com*

***e-mail: aleksander.mackaveeff@yandex.ru*

The center of Moscow has a lengthy and complex evolution. One of its characteristics is a dense network of underground communications of different ages (including manifolds of small rivers). Comparison between the “Leveling plan of the Moscow city” (1888) and the topographic map of Moscow (1984) doesn't show significant changes of the city center's relief whose absolute level's rise hasn't exceed 0.6 m at an average. Studying small underground rivers, such as Neglinnaya, Presnya, Chichera and Zolotoy Rozhok reveals that since the late 19th century till present time, anthropogenic changes have reduced the density of the drainage network nearly to zero and enlarged the subhorizontal surfaces. Geomorphologic processes have ceased in small urban river valleys on the surface, but suffusion-subsidence phenomena, flooding and deformation of buildings and structures intensify around rivers hidden in collectors, which causes significant damage to the urban economy. The structure and morphometry of watersheds has been simplified, and a significant part of their area has become impermeable. Therefore, despite the reduction in the slope of the terrain, flow velocity, power of the streams, and their erosive potential increased. A threat of rainfall floods still remains.

Keywords: drainage basin, anthropogenic transformations, technoburied rivers, surface discharge, morphometry of river basins

REFERENCES

- Anikina N.V. Influence of paleorelief on the formation of an anthropogenic morpholithosystem (on the example of the Central part of Moscow). In *Antropogennaya geomorfologiya* [Anthropogenic Geomorphology]. Moscow: Media-PRESS, 2013, pp. 215–221. (In Russ.).
- Alekseeva L.I., Varentsov E.V., Gorbarenko E.V., Gorchach I.A., Eremina I.D., Zhdanova E.Yu., Kirsanov A.A., Kislov A.V., Konstantinov P.I., Korneva I.A., Lokoshchenko M.A., Nazval' E.I., Rovokatova A.P., Rivin G.S., Samsonov T.E., Soshinskaya I.V., Chubarova N.E., Shilovtseva O.A. *Klimat Moskvy v usloviyakh global'nogo potepeniya* [Moscow's Climate in the Context of Global Warming]. Kislov A.V., Ed. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2017. 288 p.
- Geoekologiya Moskvy: metodologiya i metody otsenki sostoyaniya gorodskoi sredy* [The Geoecology of Moscow: Methodology and Methods of Assessing the Urban Environment State]. Moscow: Media-PRESS, 2006. 200 p.
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. *Antropogennoe vozdeistvie na stok reki Moskvy* [Anthropogenic Impacts on the Flow of the Moscow River]. Moscow: MAKSPress, 2015. 168 p.
- Kochetova D.F. Identification of technogenic impact on the level regime of ground water in urban areas (on the example of Gorky). In *Rezhimnye inzhenerno-geologicheskie i gidrogeologicheskie nablyudeniya v gorodakh* [Regime Engineering-Geological and Hydrogeological Observations in Cities]. Moscow: Nauka Publ., 1983, pp. 147–148. (In Russ.).
- Kusov V.S. The oldest benchmarks of Moscow. *Geodeziya i Aerofotos'emka*, 2000, no. 2, pp. 162–169. (In Russ.).
- Likhacheva E.A. Morphodynamics of the anthropogenic relief of the urban area. In *Problemy Morfodinamiki* [Problems of Morphodynamics]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1983, pp. 84–90. (In Russ.).
- Likhacheva E.A., Bgatov An.P., Krasnov A.F. Specificities of present-day geomorphological processes in the city. In *Sovremennoe ekzogennoe rel'efoobrazovanie, ego izuchenie i prognoz* [Modern Exogenous Relief Formation, Its Study and Forecast]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1984, pp. 32–43. (In Russ.).
- Likhacheva E.A., Makkaveev A.N., Kurbatova L.S. Ancient and recent processes in the Neglinnaya river valley. *Geomorfologiya*, 2001, no. 4, pp. 58–66. (In Russ.).
- Likhacheva E.A., Makkaveev A.N., Lokshin G.P. Stages of development of drained areas of small rivers on urbanized territories (on example of Moscow). *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2010, no. 5, pp. 103–111. (In Russ.).
- Makkaveev A.N., Makhorina E.I. Technologically buried valleys as one of the most active components of the large cities morpholithosystem. In *Ocherki po geomorfologii urbosfery* [Studies of Urban Geomorphology]. Moscow: Media-PRESS, 2009, pp. 291–312. (In Russ.).
- Makkaveev A.N., Fedorovich D.V. Transformation of the ground water level in the urban area (Moscow). In *Antropogennaya geomorfologiya* [Anthropogenic Geomorphology]. Moscow: Media-PRESS, 2013, pp. 202–215. (In Russ.).
- Mikhailov I.V. Influence of urban area on the formation of some water balance elements of the Kursk model region. In *Vozdeistvie khozyaistva i prirody v gorodskikh i promyshlennykh geosistemakh* [Impact of Economic Activities and Nature in Urban and Industrial Geosystems]. Moscow, 1982, pp. 45–52. (In Russ.).
- Nekhodtsev V.A. Cities' underground rivers. In *Geomorfologiya gorodskikh territorii: konstruktivnye idei* [Urban Geomorphology: Constructive Ideas]. Moscow: Media-PRESS, 2017, pp. 103–120. (In Russ.).
- Geodetic Levelling Plan of Moscow City. Compiled on the Basis of the Trigonometric Network, on the Survey and Levelling of the City in 1874–44 by Land Survey Engineers N.N. Smirnov and D.P. Rashkov. 1879. Facsimile Ed. of the First Map of Moscow Depicting the Relief. On the 225th Anniversary of KMI-MIIGAiK. Roskartografiya, 2002. (In Russ.).
- Skomorokhov A.I. To the development of gully landforms. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1981, no. 5, pp. 114–121. (In Russ.).
- Fedorovich D.V., Makkaveev A.N., Lokshin G.P., Goretskii K.V. Functioning characteristics of urbanized catchment basin (Khodynka river in Moscow as an example). *Geomorfologiya*, 2004, no. 3, pp. 29–36. (In Russ.).
- Dixon P.G., Mote T.L. Patterns and causes of Atlantàs Urban Heat Island-Initiated precipitation. *J. Appl. Meteorol.*, 2003, vol. 42, no. 9, pp. 1273–1284.